



UNIVERSITY
OF FERRARA
- EX LABORE FRUCTUS -

DE Department of
Engineering
Ferrara

INTRODUZIONE ALL'ANALISI DEL CICLO DI VITA DI SISTEMI ENERGETICI

Hilal Bahlawan

Dipartimento di ingegneria, Università di Ferrara, Italia

- Il problema ambientale
- Introduzione alla LCA
- Come realizzare una LCA
- Alcuni casi studio



Il problema ambientale



Il problema ambientale

LOCALE

Smog → CO₂, PM10, NO_x, SO_x

Smog estivo o fotochimico → Idrocarburi, No_x,
eccesso di ozono

Eutrofizzazione → Eccesso di fertilizzanti
Diminuzione della biodiversità

GLOBALE

Effetto serra → Cambiamenti climatici

Piogge acide → Danni alle foreste

Consumo risorse → acqua, energia primaria, risorse
minerarie

Come ridurre gli impatti ambientali?

Trattamento allo scarico

- È la soluzione «end of pipe» (allo scarico)
- Ridurre gli impatti allo scarico con filtri, trattamenti chimici o combustione, è una soluzione poco sostenibile

Soluzioni orientate al prodotto

- I principali impatti ambientali non derivano solo dalla fase produttiva
- Occorre agire sull'intero ciclo di vita
- Adottare soluzioni orientate al prodotto

Occorrono strumenti che attestino le qualità ambientali dei prodotti in un'ottica di ciclo di vita

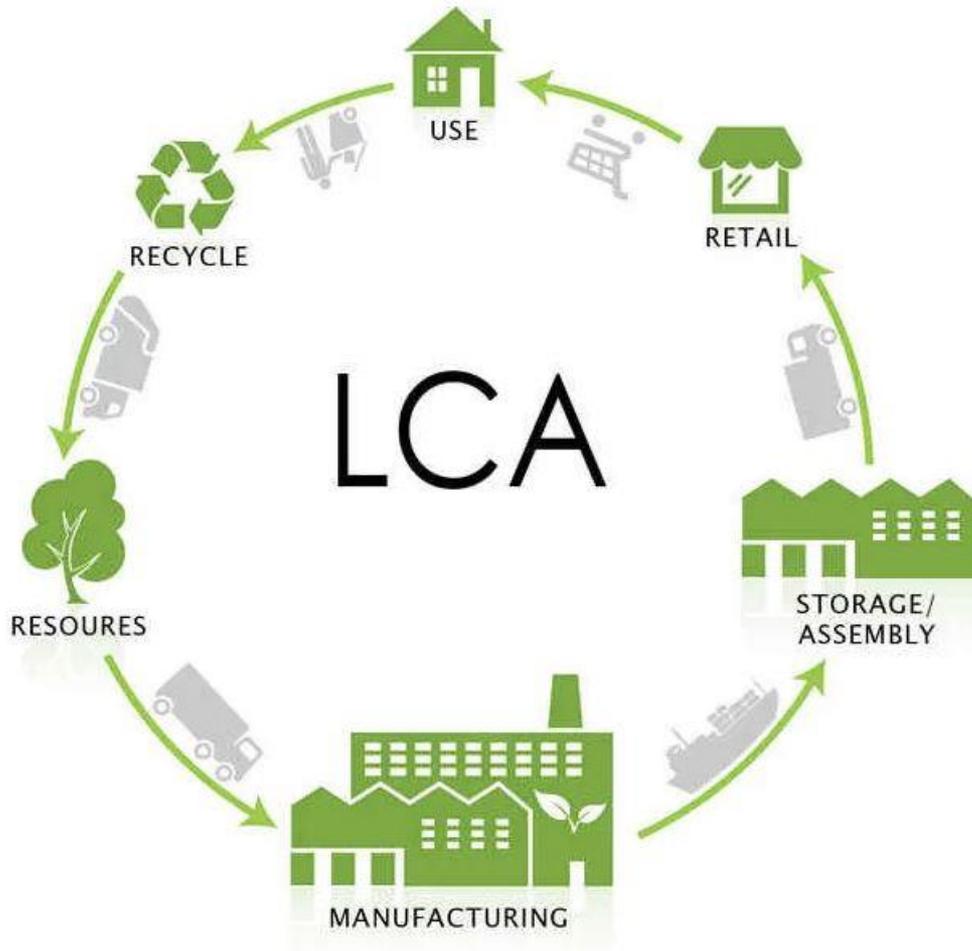
Questo approccio all'analisi dei sistemi propone di tenere conto di tutti gli aspetti del ciclo di vita del sistema prodotto partendo dai processi a monte fino a quelli a valle



non si spostano le criticità ambientali da una fase all'altra

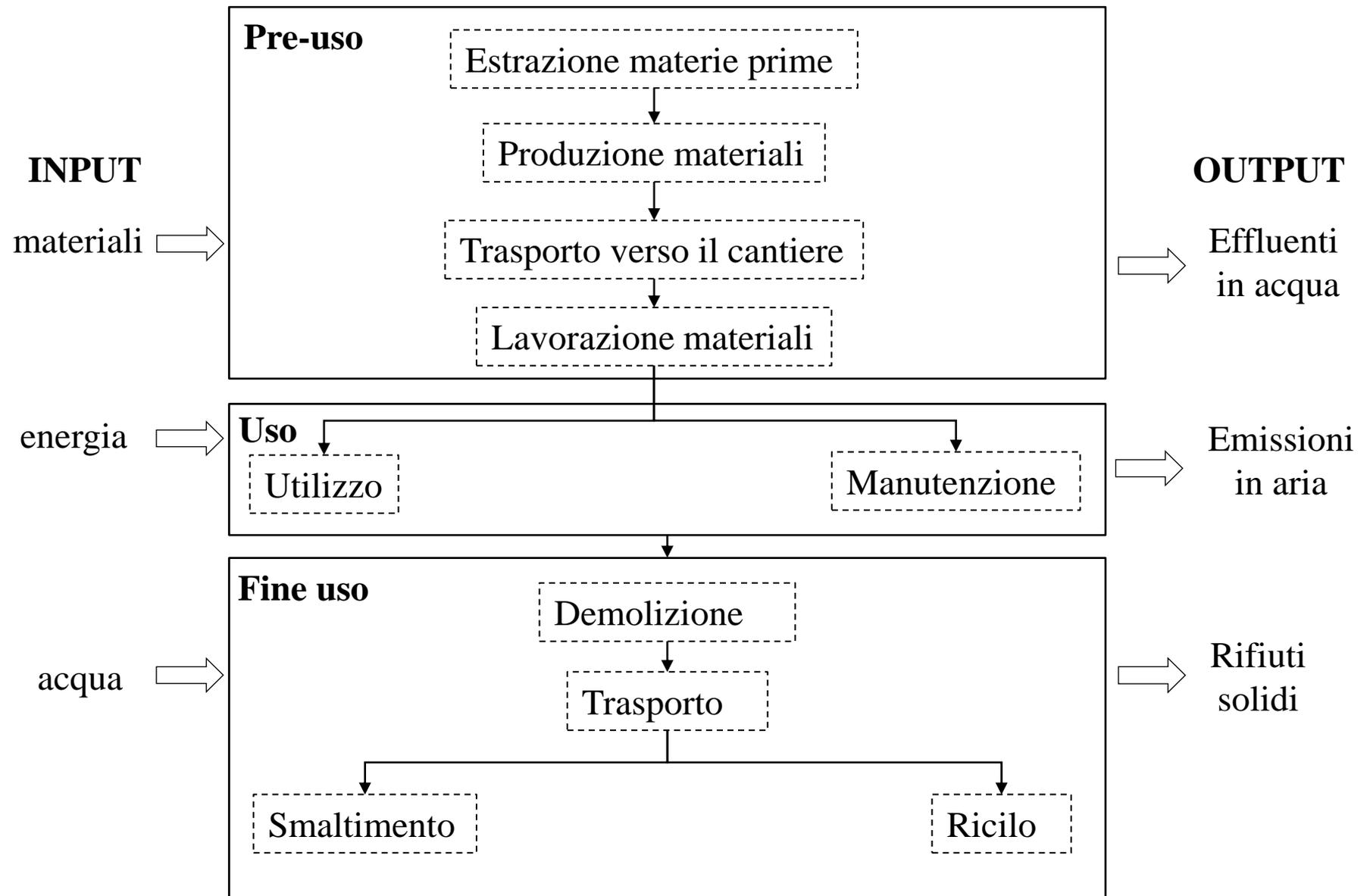


Life Cycle Assessment (LCA)



L'analisi del ciclo di vita studia gli aspetti energetici ambientali relativi alla vita di un prodotto dall'estrazione delle materie prime fino allo smaltimento finale considerando l'intero ciclo di vita.

Struttura della LCA



- La LCA valuta gli impatti utilizzando diverse categorie di impatto che descrivono gli effetti ambientali di prodotti e servizi considerando il loro intero ciclo di vita.
- Gli impatti vengono valutati attraverso l'identificazione e la quantificazione di dati relativi a:
 - ✓ Consumi di materia
 - ✓ Consumi di energia
 - ✓ Produzione di rifiuti
 - ✓ Emissioni (in aria, acqua e suolo)

A cosa servono i risultati della LCA?

- Descrivere l'impatto ambientale complessivo di un prodotto;
- Confrontare gli impatti ambientali di prodotti differenti aventi la stessa funzione;
- Identificare lo stadio del ciclo di vita di un prodotto con un maggiore impatto dal punto di vista ambientale;
- Supportare la progettazione di nuovi prodotti o servizi;
- Indicare le strategie da adottare per un miglioramento ambientale.



Certificazioni ambientali



Ecolabel europeo

 **EPD**[®] Dichiarazione Ambientale di Prodotto



L'etichetta per la CO₂ Carbon Footprint



L'etichetta Made Green In Italy

La serie ISO 14040 è lo standard che descrive la LCA.

- **ISO 14040:** 2006 «Gestione ambientale-Valutazione del ciclo di vita – Principi e quadro di riferimento»: fornisce una chiara panoramica della pratica, delle applicazioni e dei limiti dell'LCA a un'ampia gamma di potenziali utenti e stakeholder, compresi quelli con una conoscenza limitata dell'LCA
- **ISO 14044:**2006 «Gestione ambientale-Valutazione del ciclo di vita – Requisiti e linee guida»: è uno standard che approfondisce la preparazione, lo sviluppo e la revisione critica dell'analisi dell'inventario del ciclo di vita Fornisce inoltre una guida sulla fase di valutazione dell'impatto della LCA e sull'interpretazione dei risultati della LCA, nonché sulla natura e sulla qualità dei dati raccolti

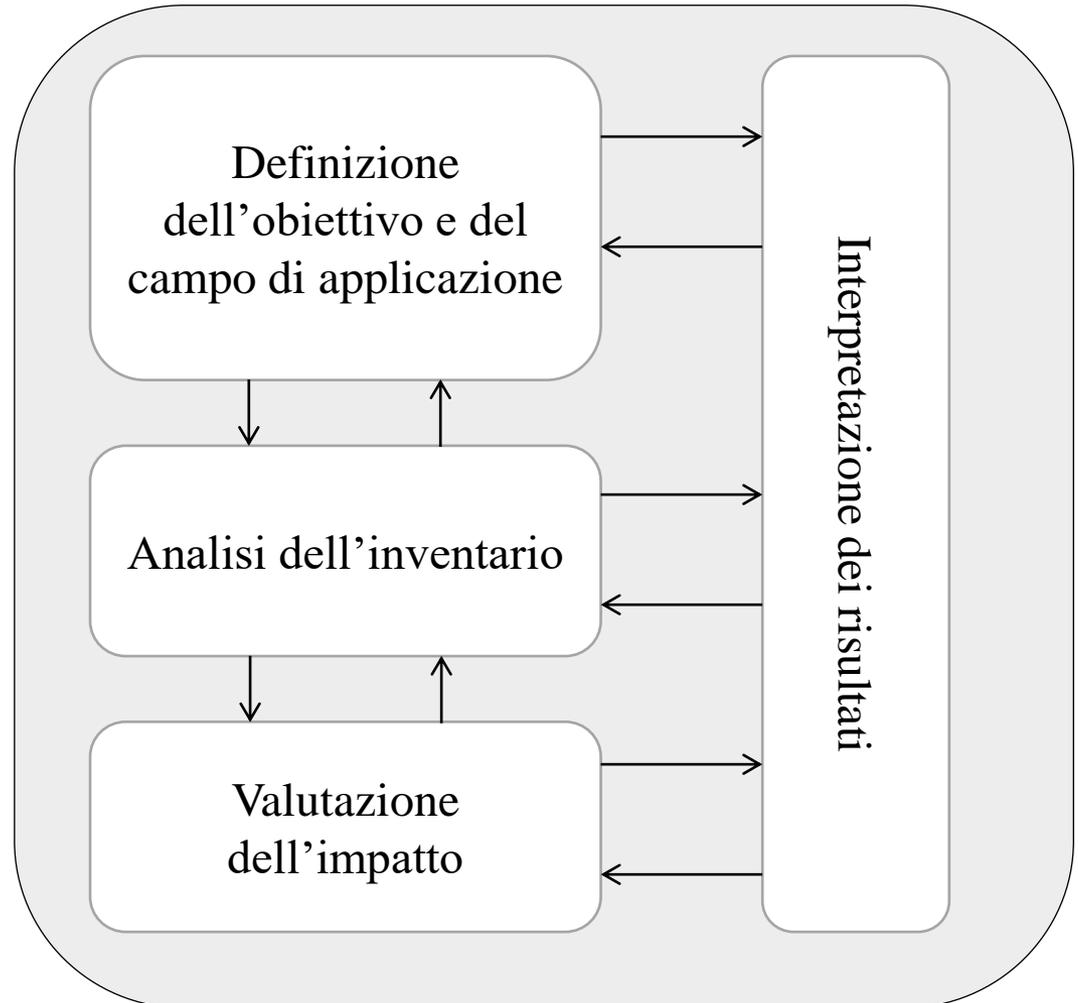
Fasi della LCA

Fase 1: Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione

Fase 2: analisi dell'inventario

Fase 3: valutazione degli impatti

Fase 4: interpretazione dei risultati



Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione

In questa fase occorre stabilire a quali necessità si vuole rispondere:

- Confronto di prodotti o relazione tra il proprio prodotto con uno standard?
- Miglioramento di un prodotto dal punto di vista ambientale o progettazione di un nuovo prodotto?
- Semplicemente ottenere informazioni (ambientali) sul prodotto?



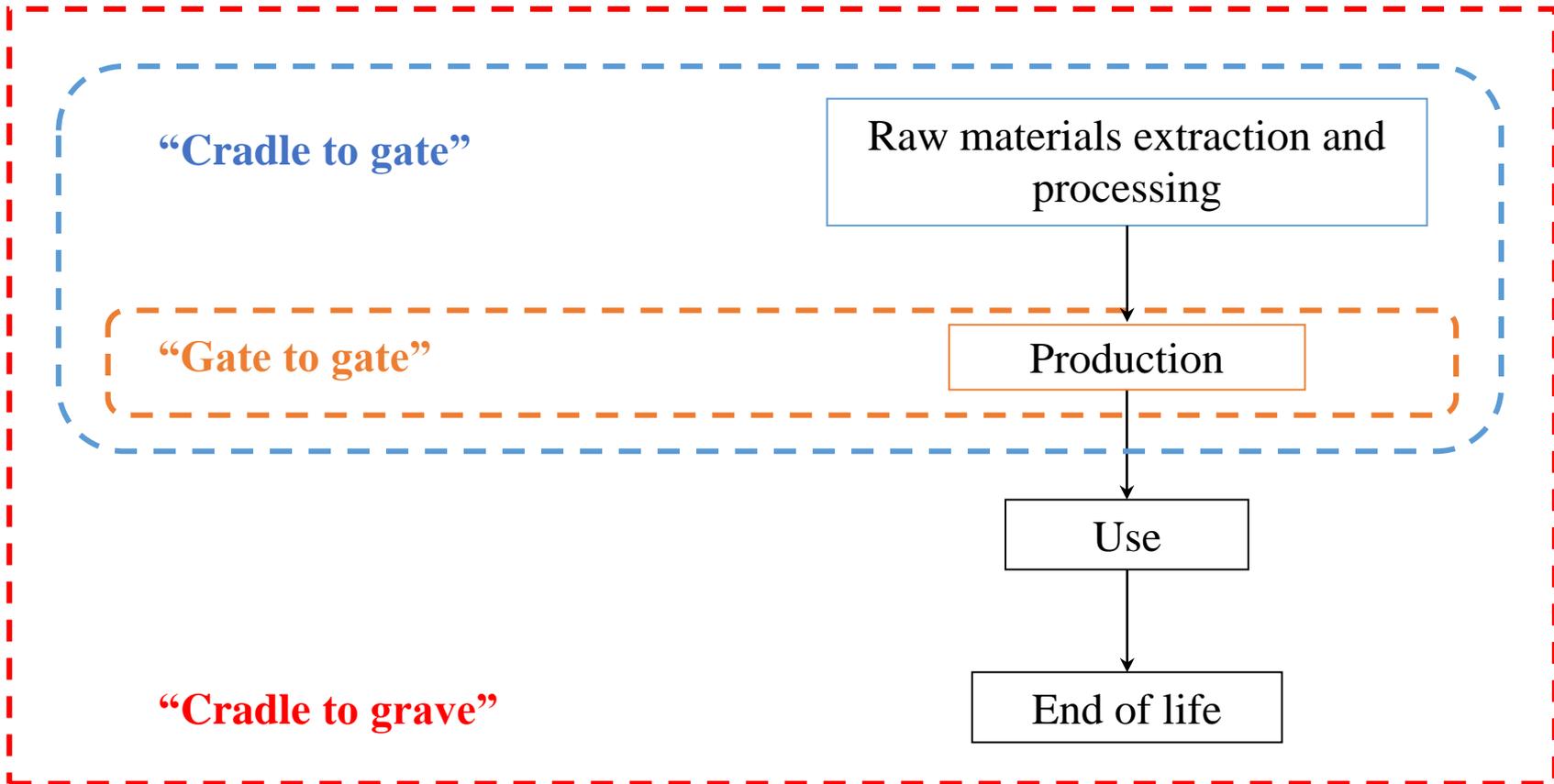
Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione

- Condizione geografica e temporale
- L'unità funzionale di riferimento e il flusso di riferimento
- La procedura di acquisizione dei dati
- I parametri ambientali da valutare
- Comunicazione finale



Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione

Confini del sistema



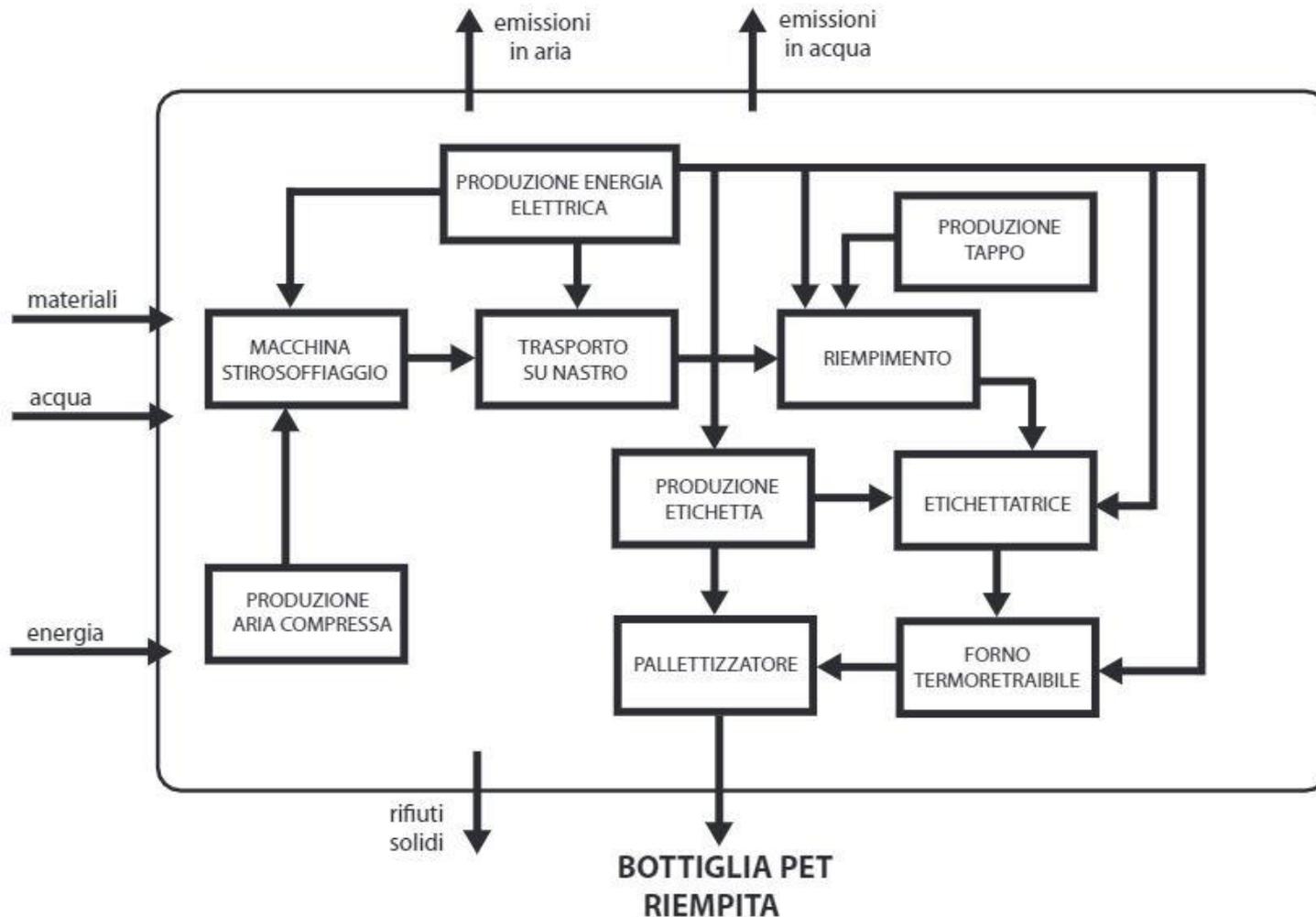
Analisi di inventario (LCI)

- È il cuore della LCA e richiede molto tempo
- È una lista di tutti i flussi materiali in ingresso ed uscita dalle unità di processo di cui è composto il sistema
- Definizione del diagramma di flusso
- Raccolta dei dati e gestione dei dati raccolti (Utilizzo di software dedicati)



Analisi di inventario (LCI)

Diagramma di flusso per la produzione di una bottiglia d'acqua



Analisi di inventario (LCI)

| Input | | | |
|------------------------|-------------------------|----------------------------------|------------|
| Materie prime | Valore | | |
| Energia elettrica | 33 MJ | Fertilizzanti | 0,05 kg |
| Bottiglia | 0,55 kg | Agrofitosanitari | 1,0E-03 kg |
| Etichetta | 2,6E-03 kg | Bisolfito di ammonio | 1,3E-04 kg |
| Capsula | 1,1E-03 kg | Solfato di ammonio | 3,7E-04 kg |
| Tappi | 1,1E-03 kg | Fosfato di ammonio | 1,2E-04 kg |
| Cartone | 3,7E-02 kg | Bentonite | 1,2E-03 kg |
| Alveare | 1,2E-03 kg | Idrossido di sodio | 5,4E-04 kg |
| Pedana | 2,8E-05 cm ³ | Acido acetico | 1,5E-09 kg |
| Interfalda | 9,5E-04 kg | Acqua | 7,8 L |
| Cellophane | 4,6E-04 kg | tkm | 8,10 |
| Output | | | |
| Emissioni in aria | Valore | Emissioni in acqua | Valore |
| Acetone | 6,3E-1 mg | Acetaldehyde | 7,6E-01 mg |
| Chromium | 6,5E-01 mg | Benzene, ethyl- | 5,0E-01 mg |
| Cumene | 9,4E-01 mg | Beryllium | 6,0E-01 mg |
| Ethanol | 8,0E-01 mg | Bromate | 7,5E-01 mg |
| Ethyl acetate | 6,1E-01 mg | Carbonate | 9,6E-01 mg |
| Methyl ethyl ketone | 6,1E-01 mg | Cyanide | 5,8E-01 mg |
| Particulates, < 2.5 um | 5,3E+02 mg | Hypochlorite | 8,6E-01 mg |
| Particulates, > 10 um | 6,4E+02 mg | Methanol | 5,8E-01 mg |
| Phenol | 6,5E-01 mg | Nitrite | 6,0E-01 mg |
| | | Scandium | 9,8E-01 mg |
| Emissioni nel terreno | Valore | Rifiuti | Valore |
| Chlorothalonil | 9,4E-01 mg | Aluminium waste | 186 mg |
| Manganese | 5,9E-01 mg | Carton waste | 30 mg |
| Phosphorus | 5,7E-01 mg | Packaging waste, paper and board | 150 mg |
| Boron | 4,1E-01 mg | | |
| Chromium | 1,5E-01 mg | | |
| Lead | 2,3E-01 mg | | |
| Orbencarb | 2,3E-01 mg | | |

Tabella dei dati relativi all'analisi d'inventario di una bottiglia

Analisi di inventario (LCI)

Database che contengono dei dati relativi al ciclo di vita di numerosi prodotti



Analisi di inventario (LCI)

I dati sono relativi
alla produzione di un
metro quadro di
solare termico



| Name | Location | Infrastructure | Process | Unit | fiat plate collector, at plant |
|--------------|--|----------------|---------|------|--------------------------------|
| | | | | | GH |
| Location | Infrastructure | Process | Unit | | GH |
| Unit | | | | | m2 |
| product | fiat plate collector, at plant | GH | 1 | m2 | 1.00E+0 |
| technosphere | electricity, medium voltage, at grid | GH | 0 | kWh | 1.16E+0 |
| | tap water, at user | RER | 0 | kg | 9.40E+0 |
| | water, completely softened, at plant | RER | 0 | kg | 1.38E+0 |
| | solar collector factory | RER | 1 | unit | 2.00E-7 |
| | rock wool, packed, at plant | GH | 0 | kg | 2.43E+0 |
| | corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant | GH | 0 | kg | 3.68E+0 |
| | solar glass, low-iron, at regional storage | RER | 0 | kg | 9.12E+0 |
| | synthetic rubber, at plant | RER | 0 | kg | 7.32E-1 |
| | silicone product, at plant | RER | 0 | kg | 5.88E-2 |
| | propylene glycol, liquid, at plant | RER | 0 | kg | 1.01E+0 |
| | aluminium, production mix, wrought alloy, at plant | RER | 0 | kg | 3.93E+0 |
| | brazing solder, cadmium free, at plant | RER | 0 | kg | 3.68E-3 |
| | soft solder, Sn97Cu3, at plant | RER | 0 | kg | 5.88E-2 |
| | copper, at regional storage | RER | 0 | kg | 2.82E+0 |
| | chromium steel 18/8, at plant | RER | 0 | kg | 4.14E+0 |

Valutazione degli impatti (LCIA)

- Valutare i potenziali impatti ambientali mediante l'uso dei risultati ottenuti dall'analisi d'inventario
- La LCIA (Life Cycle Impact Assessment) trasforma ogni flusso di sostanza della tabella d'inventario in un contributo agli impatti stessi
- L'impatto è rappresentato da una serie di parametri che definiscono il comportamento ambientale del prodotto
- È una valutazione relativa perché quantificata rispetto all'unità funzionale

Categorie di impatto

- **Risorse**

- Esaurimento delle risorse (ARD)
- Consumo di energia (CED)

- **Impatti globali**

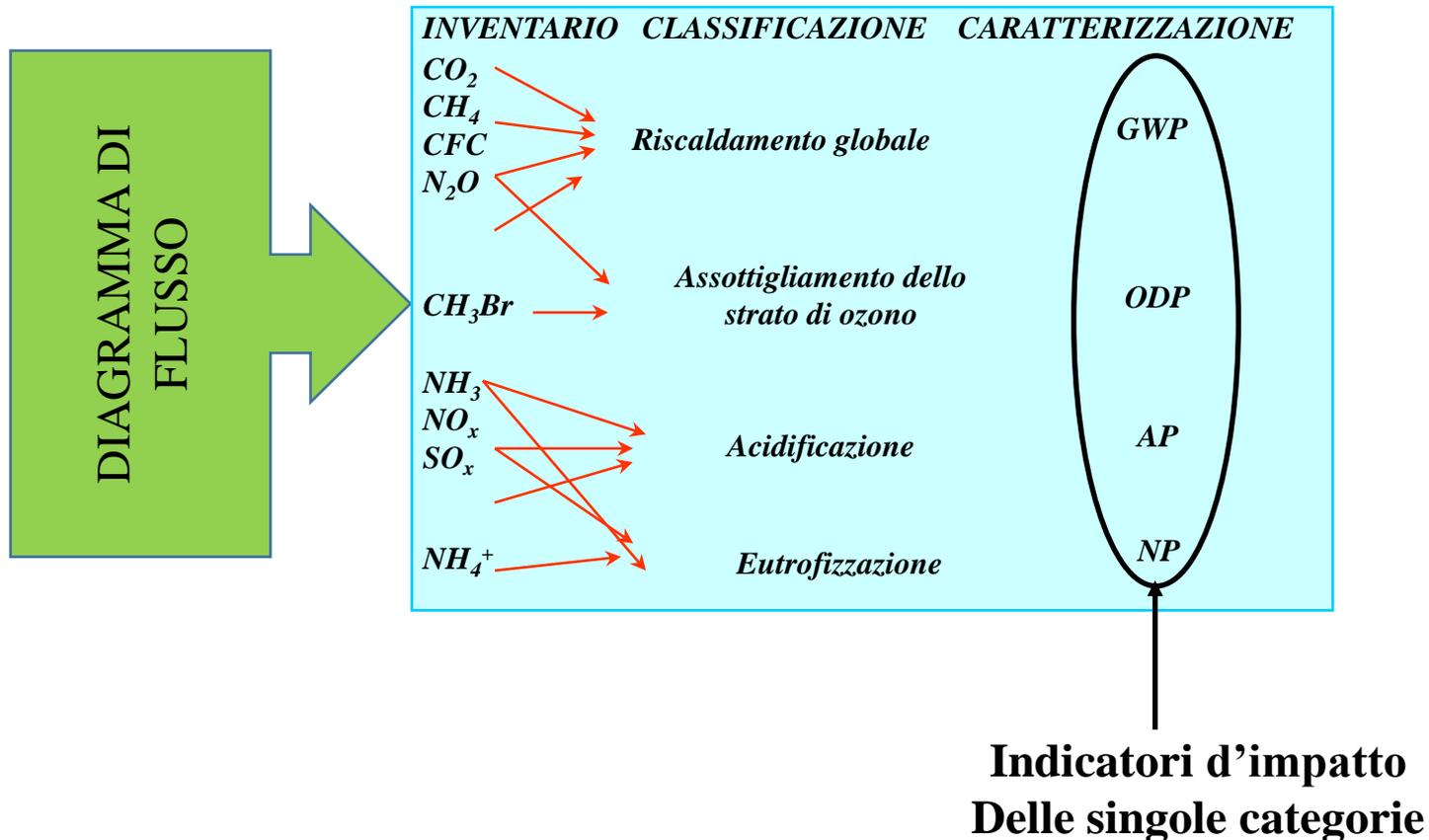
- Riscaldamento globale (GWP)
- Distruzione dello strato di ozono (ODP)

- **Impatti regionali e locali**

- Acidificazione (AP)
- Eutrofizzazione (EP)
- Formazione ossidanti fotochimici (POCP)
- Tossicità umana (HTP)
- Ecotossicità acquatica e terrestre (ETP)



Valutazione degli impatti (LCIA)



CED: Indicatore di impatto energetico

- CED (Cumulative Energy Demand)
- Il CED è un indicatore per la valutazione dell'energia primaria consumata durante una parte o l'intero ciclo di vita del sistema
- Il CED rappresenta l'energia primaria consumata per l'estrazione delle materie prime, lavorazione delle materie prime, produzione e trasporto del prodotto finale ed infine smaltimento
- Risulta conveniente quando non sono disponibili delle informazioni sufficienti nell'inventario
- La sua valutazione non richiede la raccolta di dati riguardanti le emissioni

$$CED_T = CED_f + CED_n + CED_{bio} + CED_{wa} + CED_w + CED_s$$

- Esso consiste nella somma dell'energia derivante da fonte fossile, nucleare, biomassa, idrica, solare e eolica
- È un indicatore di impatto perché include una parte relativa all'esaurimento delle fonti non rinnovabili

Valutazione degli impatti (LCIA)

- Il CED_f rappresenta la parte di energia primaria derivante da fonte fossile
- Ha un elevato impatto ambientale
- Può essere correlato al riscaldamento globale (GWP) e esaurimento delle risorse (ARD)

$$IP = 10^b \cdot CED_f^a$$

- a e b, sono dei coefficienti che derivano dalla letteratura

| | a | b |
|------------------------------------|----------|----------|
| GWP [kg CO _{2eq}] | 0.9 | -1.1 |
| ARD [kg Sb _{eq}] | 1.0 | -3.3 |

Interpretazione dei risultati

- In questa fase i risultati vengono controllati e valutati per verificarne la coerenza con gli obiettivi e il campo d'applicazione
- I risultati di questa fase sono conclusioni, raccomandazioni e rapporti a coloro che debbono prendere le decisioni
- In questa fase si può decidere per esempio di sostituire un prodotto, di migliorare un determinato servizio oppure di approfondire alcuni aspetti di processi innovativi allo studio



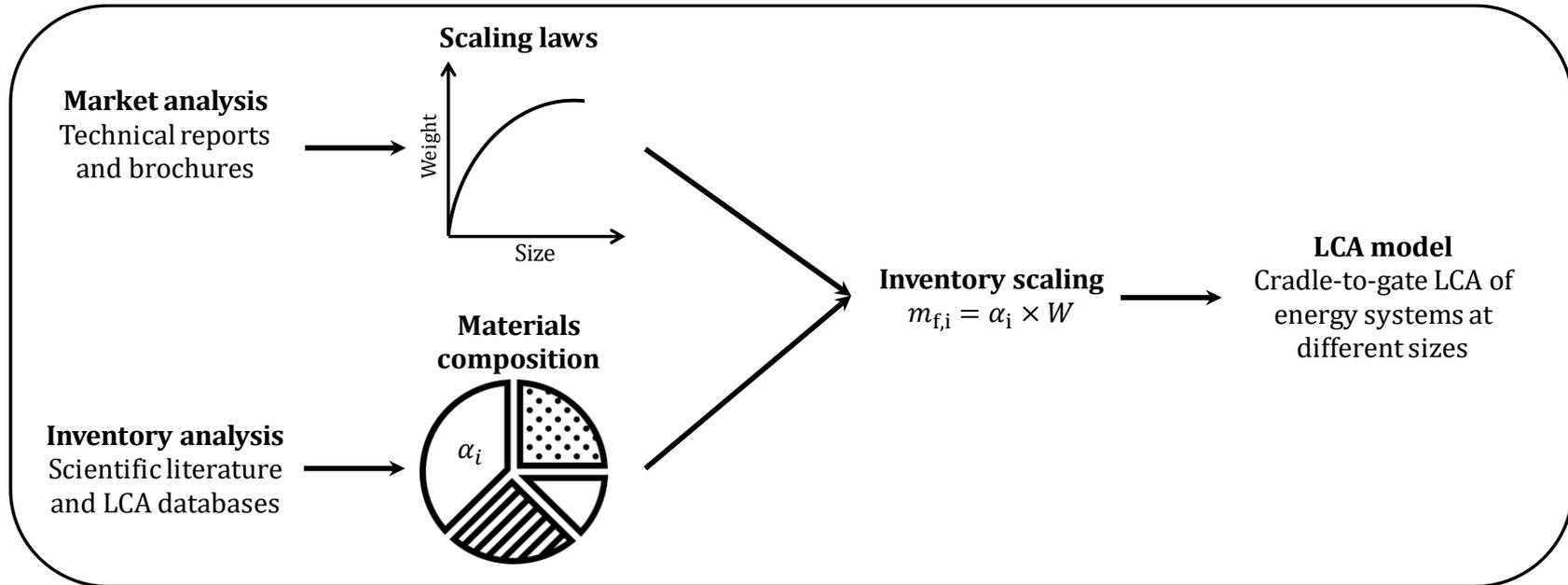
La mancanza dei dati

- I dati dell'analisi di inventario vengono raccolti dalla letteratura, da database o tramite misure
- I dati sono relativi ad un certo sistema con una certa capacità
- La mancanza dei dati è un ostacolo per la conduzione degli studi di LCA
- Abbiamo bisogno dei dati relativi a dei nuovi sistemi oppure sistemi con diverse scale
- Estrapolazione dei dati



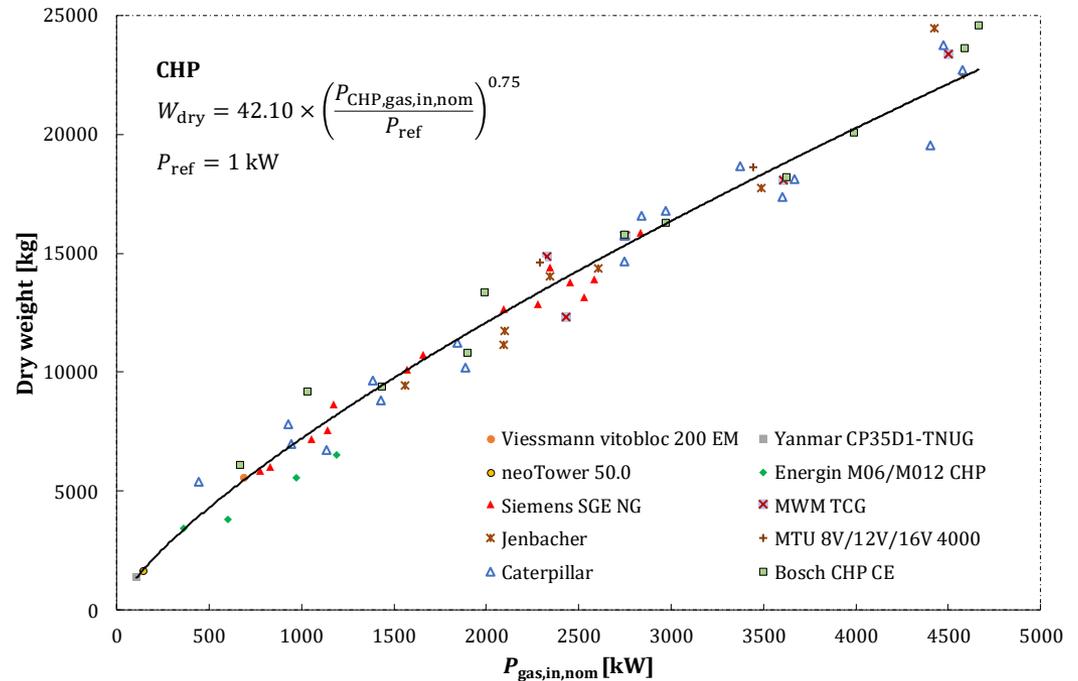
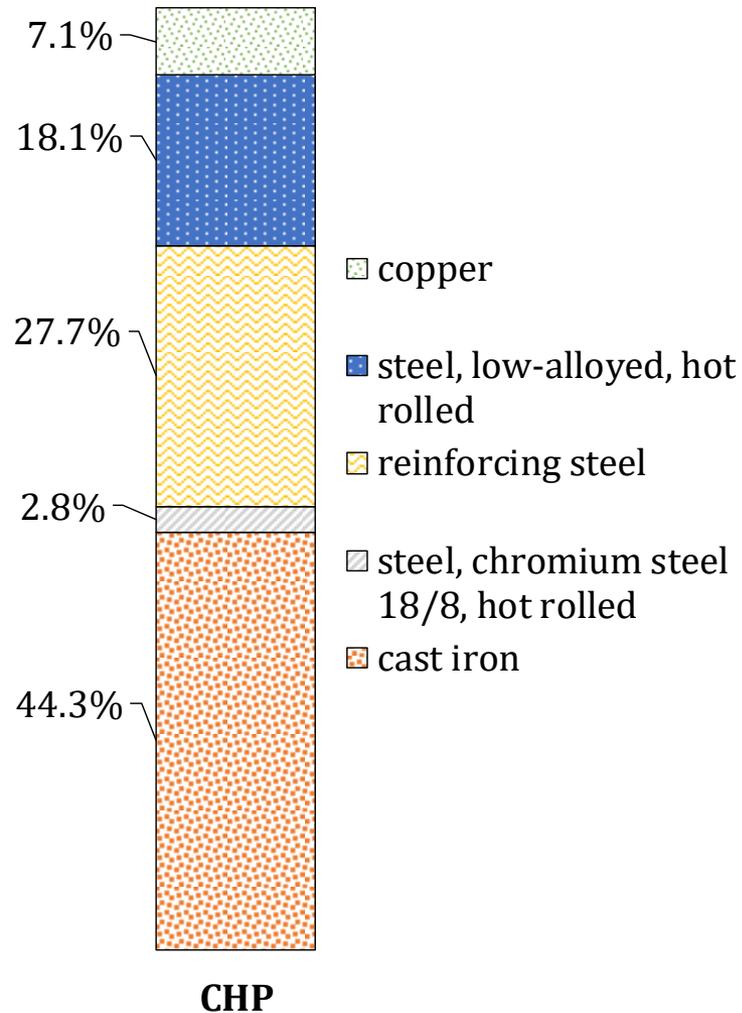
Lo scaling dei dati nella LCA

- La relazione tra l'LCI e la scala del sistema non è lineare!
- Tale relazione è descritta da una legge di potenza



Lo scaling dei dati nella LCA

Materials composition of CHP

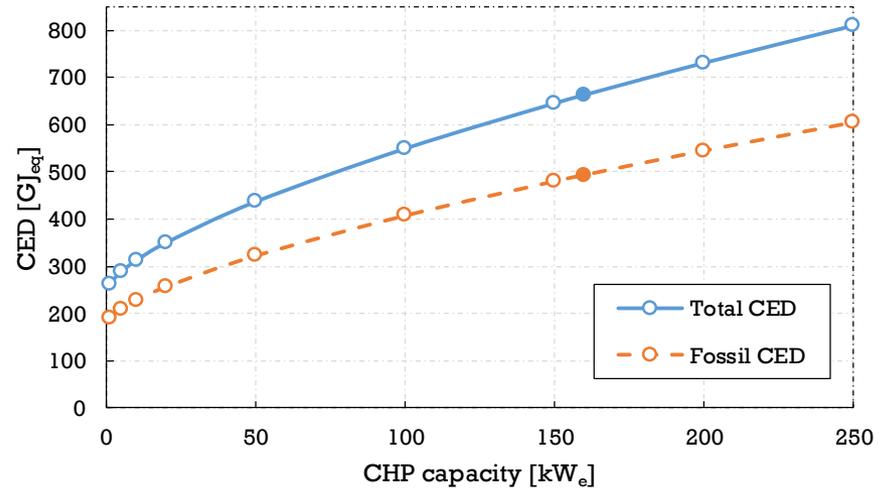


Weight of the CHP in a range of sizes

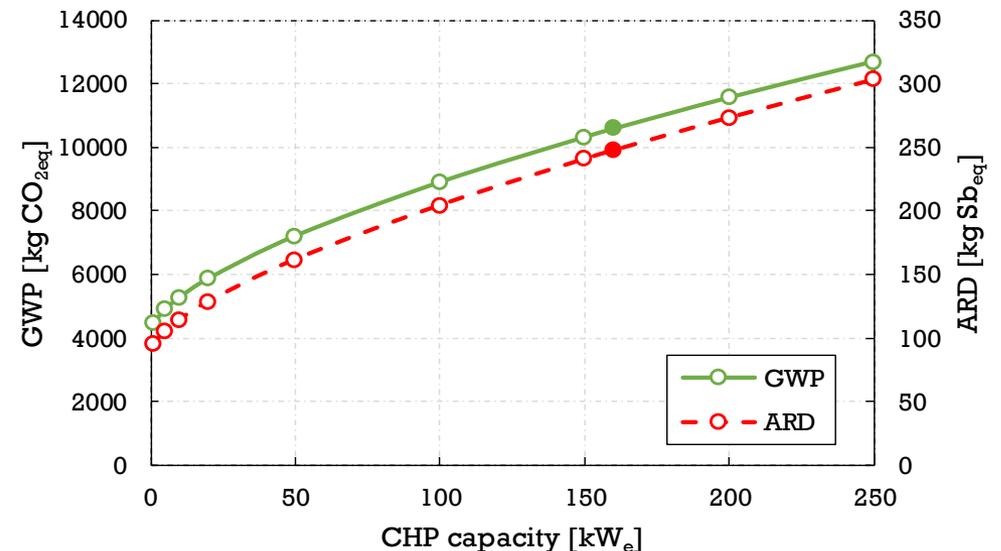
Lo scaling dei dati nella LCA

Impatti ambientali per un CHP in funzione della taglia

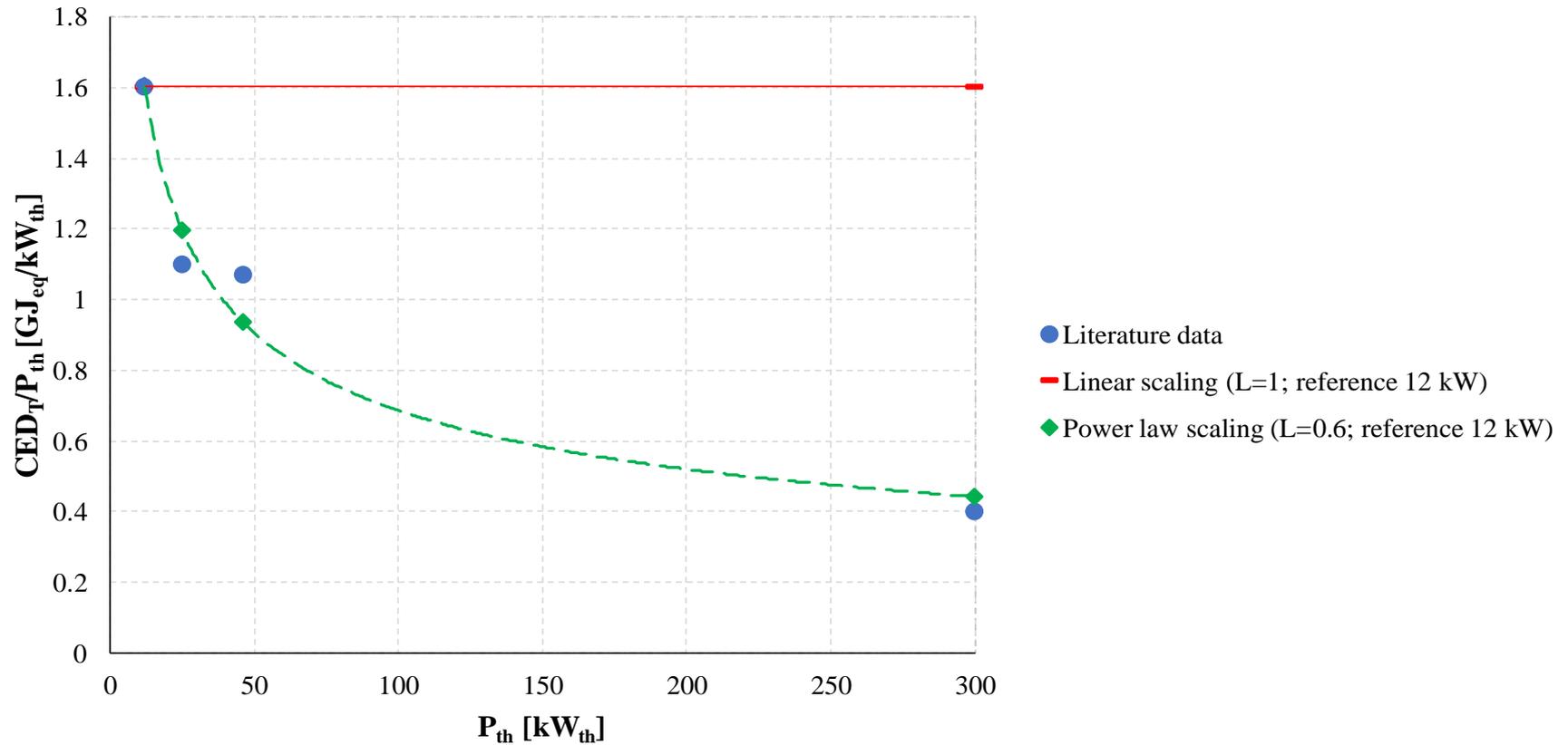
Consumo di energia
primaria (CED)



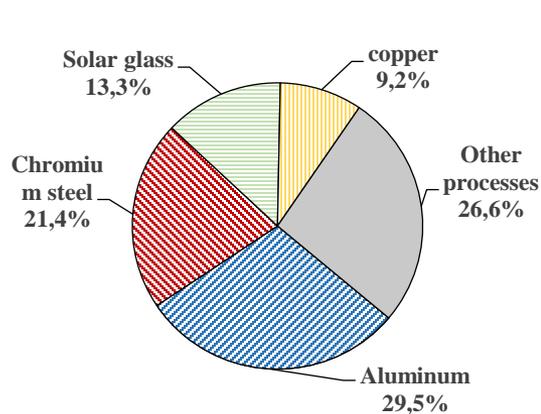
Riscaldamento globale (GWP)
E consumo di risorse (ARD)



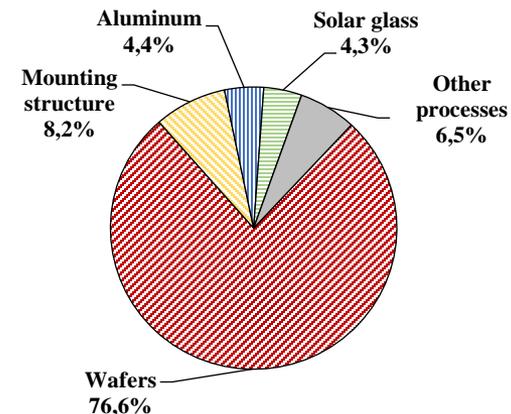
Validazione dello scaling



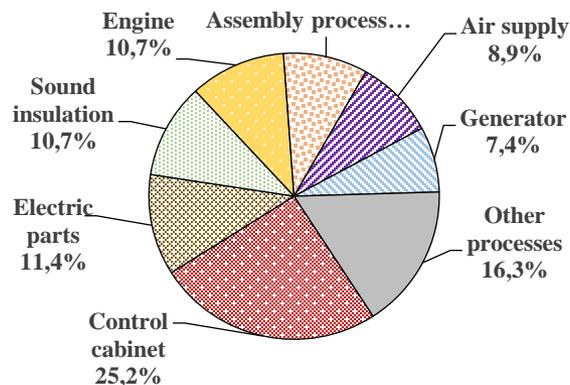
Esempi di ripartizione del CED tra i materiali che compongono alcuni sistemi energetici



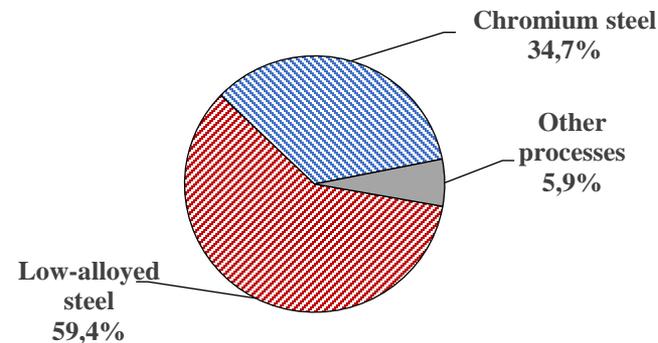
Solare termico



Solare fotovoltaico

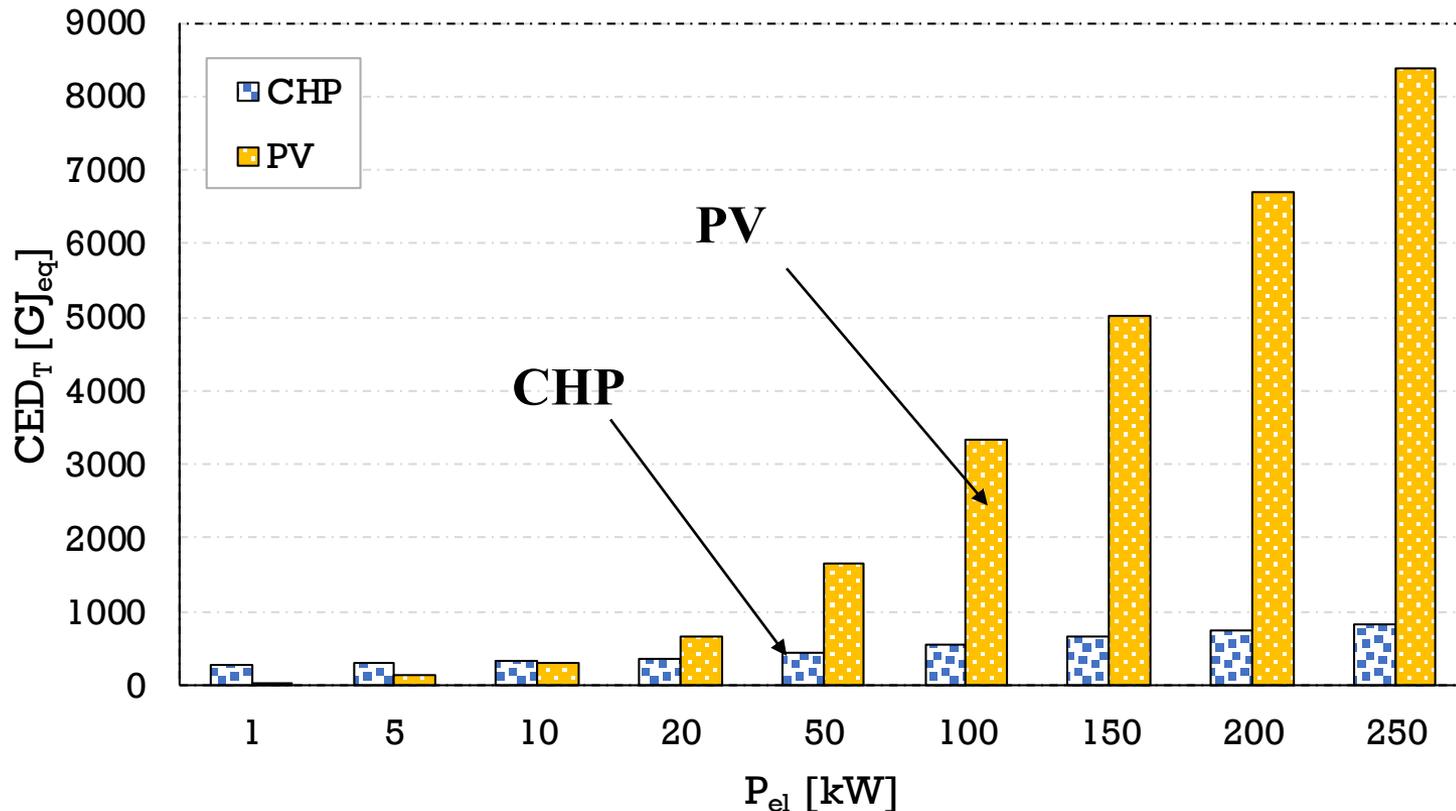


Cogeneratore



Accumulo termico

Confronto Impatto ambientale CHP vs. PV al variare della taglia



I risultati si riferiscono solo alla fase di produzione del sistema (cradle-to-gate)!
Le fasi di funzionamento e smaltimento non sono incluse!

Alcuni risultati

